DOI:10.11931/guihaia.gxzw201805041

基于知识图谱的植物功能性状与环境研究前沿态势分析

顾丹丹[1]，李雅[1]，刘梅[1]，雷会珠[1]，刘杨[2*]

（1. 西北农林科技大学图书馆，陕西 杨凌 712100；2. 西北农林科技大学农学院，陕西 杨凌 712100）

摘要：植物功能性状显著影响生态系统的功能并能反映植物对环境变化的相应，是联系植物与环境的桥梁。为了系统了解国际上植物功能性状与环境的研究进展，本研究基于 Web of Science 数据来源，利用 Web of Science 数据库分析工具和 Thomson Data Analysis（TDA）进行数据清理和统计分析，并利用 Ucinet 和 Netdraw、EXCEL 等软件进行可视化作图。分别从文献年度变化趋势、研究主题、主要研究国家/机构、研究力量分布比较、期刊分布状况及高被引论文等方面，对 1992-2017 年的相关论文，尤其是近 9 年(2009-2017 年）植物功能性状与环境研究的相关论文进行数据挖掘与定量分析。结果表明：(1）近 26 年来，植物功能性状与环境研究论文数量呈持续稳步增长态势，尤其近 9 年来呈加速增长态势；(2）近 9 年来，研究主题主要围绕比叶面积、叶面积（指数）、光合作用（性能）、叶厚度、叶形态、叶氮含量、叶绿素、叶绿素荧光、比根长等功能指标，及光照、温度、水（水分利用效率、干旱等）、肥（氮、磷为主）、CO_2 等环境因子展开；化学计量学在该领域应用广泛（3）2009-2017 年间，欧美等发达国家是该领域研究的主要力量。美国发文数量和文献质量均为世界领先。中国在该领域的发文量居第二位，仅次于美国，但文献篇均被引和 H 指数较低。中国科学院发文量以绝对优势居第一位，但文献质量有待进一步提升。(4）该领域载文量 Top10 期刊 8 种为 JCR 分区 Q1 区、2 种为 Q2 区。其中，Plant and Soil 和 Plant Ecology 载文量分居第一、二位。(5）Top10 高被引论文发表于 8 种期刊，其第一作者分别来自美国、荷兰、加拿大、德国和法国。

关键词：植物功能性状；环境；文献计量；态势分析

中图分类号：G255. 51

Tendency analysis of the plant functional traits and environments research based on knowledge map

GU Dandan[1], LI Ya[1], LIU Mei[1], LEI Huizhu[1], LIU Yang[2*]

基金项目：国家重点研发计划（2017YFD0300202-2）中国高等教育文献保障系统（CALIS）全国农学文献信息中心研究项目（2016045）；中国科学院文献情报中心项目（A289021401）[Supported by the National Key R & D Program of China (2017YFD0300202-2); National Agricultural Literature Information Cent of China Academic Library & Information System (CALIS)(2016045); Foundation of National Science Library, Chinese Academy of Science(A289021401)]。

作者简介：顾丹丹（1984-），女，山东菏泽人，硕士研究生学历，馆员，主要从事科技情报与文献计量研究，(E-mail) dandangu0726@126.com。

***通讯作者：**刘杨，副教授，博士研究生导师，主要从事植物学研究，(E-mail) liuyang0328@126.com。

(1. *Library, Northwest A & F University*, Yangling 712100, Shaanxi, China;

2. *College of Agronomy, Northwest A & F University*, Yangling 712100, Shaanxi, China)

Abstract: Plant functional traits, a bridge between plants and the environment, significantly influence the function of the ecosystem and can reflect the corresponding changes of plants to the environment. The bibliometric method which is a common research tool used in various fields for systematic analysis, can help us understand the research progress of the relation between plant functional traits and environment and provide reference data for researchers. An effective bibliometric analysis based on the Web of Science database, was carried out to provide insights into research activities on functional traits and environment from 1992 to 2017, especially recent eight years. The Thomson Data Analyzer (TDA) and Ucinet, Netdraw, Excel were used for data mining, quantitative analysis and visualization mapping. Analyzed aspects included the number of publications per year, the subject category, main countries and institutes and their comparison, peridicals distribution and highly cited papers. The results showed that: (1) In the past 26 years, the number of papers on plant functional traits and environmental research had been steadily increasing, especially in the last nine years, the growth has accelerated. (2) Research topics mainly centered on specific leaf area, leaf area (index), photosynthesis (photosynthetic characteristics), leaf thickness, leaf shape, leaf nitrogen content, Chlorophyll and chlorophyll fluorescence, specific root length, and environmental factors of light, temperature, water (water use efficiency and drought, etc.), fertilizer (nitrogen, phosphorus)， CO_2 and so on. Stoichiometry is widely used in this field. (3) During 2009-2017, developed countries such as Europe and America are the main force in this field. The number of American publications and the quality of documents were the world leading. China ranked second in the number of articles in the field, second only to the United States, but the cited frequency and H index of all literatures were low. The Chinese academy of sciences ranked the first in the number of publications with absolute advantages, but the quality of the literature needed to be further improved. (4) Top10 periodicals in this field were of high quality, among these publications eight were JCR division Q, and the other two were JCR division Q2. Plant and Soil and Plant Ecology ranked first and second respectively in terms of article quantity. (5) Top 10 highly cited papers published in eight kinds of periodicals, and the first authors respectively from the United States, the Netherlands, Canada, Germany and France.

Keywords: plant functional traits; environment; bibliometrics; situation analysis

引言

植物功能性状，是指从细胞到整个有机体个体水平的，可测度的任何形态、生理、物候特点（周道玮，2009；龚春梅等，2011），如比叶面积、叶厚度、叶片干物质重量、细根数

量、比根长、根系组织密度、根叶的氮磷含量、冠层高度等，是植物的核心属性，能显著影响生态系统功能以及反映植被对环境变化的响应（赵新风等，2014；施宇等，2011；郑颖等，2014；PEREZ et al，2013）。最常见的植物功能性状分类包括: 形态性状和生理性状、营养性状和繁殖性状、地上性状和地下性状、影响性状和响应性状（刘建等，2010；黄迎新等，2015），以及其后被广泛接受的软性状和硬性状。功能性状不仅决定了生态系统的生产力及其对环境的响应，也影响生态系统的营养结构与水平及其过程与功能，是联系植物与环境的桥梁（刘晓娟和马克平，2015）。植物功能性状已被广泛应用于进化生态学、群落生态学、生物地理学、宏观生态学及全球变化科学等各个研究领域（REICHP et al，2003；LAVOREL&GARNIER，2002；裴男才等，2011；OSTERTAG et al，2015）。

植物与环境的互作是生态学研究的核心问题。植物功能性状与环境间的联系是气候、干扰和生物条件筛选效应的结果。植物性状会随着环境条件的变化而变化，植物叶片形态、解剖结构和气孔会随着光照、温度和 CO_2 浓度变化而做出适应性的变化（Engineer et al., 2014）。干旱区的植物往往具有叶片厚、比叶面积小、水分利用效率高和叶寿命长等一系列性状特征以适应水分胁迫环境，湿生环境的植物则表现出相反的性状特征（冯秋红等，2008；孟婷婷，2007）；林木中最大气孔导度呈现出乔木＞灌木＞草本，落叶＞常绿，阔叶＞针叶（Liu et al., 2018）。 近年来，大尺度、区域性的植物功能性状研究也逐渐开展，Wang 等（2016）从区域尺度探讨了 3700km 的中国东部森林样带植物功能性状特征。Tian 等（2016）研究了树木功能性状与纬度格局的关系。而根作为植物吸收水分和养分的器官，其性状特征对植物的生长和分布具有重要的指示作用，同样能承载环境变化信息（么旭阳等，2014；EBOEHNKE et al，2014）。水分、养分等环境因子均显著影响植物根系性状（李娜等，2017；邹晓霞等，2018）。植物的一些性状与植物生长对策及资源利用的能力紧密相联。因而，研究植物功能性状与环境的关系可以很好地揭示植物对环境的适应策略，同时能够为研究当前环境条件下的生态系统功能以及预测未来全球变化对生态系统的影响提供方法和依据。

文献计量学是针对文献的各种特征的数量表现，采用数理统计等数学方法来描述、评价其研究现状并预测其发展趋势的图书情报学分支学科（唐霞等，2016；张静辉等，2015；曹永强,等，2016；冷疏影，2016）。本研究选取具有国际影响力美国科学信息研究所的科学英文索引扩展版（Science Citation Index Expanded, SCIE）数据库为数据源，运用文献计量学方法揭示和描绘植物功能性状与环境研究相关领域学科的演进过程, 分析该学科的前沿态势，以期为科研人员和管理者提供一个观察学科发展全景的新视角，为推动国内植物功能性状的研究提供一定的参考。

1. 材料与方法

本研究以Web of Science（WoS）中SCIE的核心合集为数据来源，分别从叶性状与气候，根叶性状与土壤，根叶性状与地形及根性状与气候等视角，遴选植物功能性状与环境领域的论文。经过反复试检索并与相关研究人员沟通交流后，最终确定使用高级检索中的主题方式，由所选研究方向框定主题词，用布尔运算符做必要的连接，最终形成检索式（表1）。

检索时间为2018年8月，文献年限设定为1992-2017年，类型限制为article、discussion、review等，检索得到3 854条数据。依据文章内容筛选后，最终选择其中的3 036篇作为分析样本。通过使用TDA对样本数据进行清理，并使用Ucinet、NetDraw、Excel等软件进行可视化作图。用 Keywords (Author’s +Plus) + Title (Phrases) （统一简称为关键词）作为主题词，经过数据清理去掉宽泛冗余的高频词汇，合并同义词汇，分析文献主题与热点的阶段变化、主题网络与合作国家/机构等方面的特征。

表1 植物功能性状与环境关系检索式

Table 1 Retrieval type of plant functional traits and environments research

名称 Name	检索式 Retrieval type	结果篇数 Result
（1）叶性状与气候 Leaf character and climate	TS=((”leaf thickness” or ”leaf lifespan” or ”specific leaf area” or ”leaf tissue density” or ”leaf carbon concentration” or “leaf nitrogen concentration” or ”leaf phosphorus concentration” or ”leaf N:P” or “leaf carbon Content” or ”leaf nitrogen Content” or “leaf phosphorus Content”) and (precipitation or rainfall or air temperature or temperature or evaporation or solar radiation or radiation or insolation duration)) AND PY=(1992-2017)	1490
（2）根叶性状与土壤 Root and leaf characters and soil	TS=((”leaf thickness” or ”leaf lifespan” or ”specific leaf area” or ”leaf tissue density” or ”leaf carbon concentration” or “leaf nitrogen concentration” or ”leaf phosphorus concentration” or ”leaf N:P” or “leaf carbon Content” or ”leaf nitrogen Content” or “leaf phosphorus Content” or “specific root length” or “root tissue density” or “fine root nitrogen concentration” or ”root nitrogen concentration” or “root phosphorus concentration” or “fine root carbon Content” or “root carbon Content” or ”root nitrogen Content” or “root phosphorus Content” or “root N:P” or (root “mechanical composition”) or plant	1533

	"ecological stoichiometry") and (soil nutrient or soil organic matter or soil nitrogen or soil total nitrogen or soil available nitrogen or soil phosphorus or total phosphorus or soil available phosphorus or soil carbon or soil aggregate structure or soil moisture or soil bulk density)) not TS=(apple or "white yam" or rice or maize or barley or soybean or potato or wheat) AND PY=(1992-2017)	
（3）根叶性状与地形 Root and leaf characters and topography	TS=((”leaf thickness” or ”leaf lifespan” or ”specific leaf area” or ”leaf tissue density” or ”leaf carbon concentration” or “leaf nitrogen concentration” or ”leaf phosphorus concentration” or ”leaf N:P” or “leaf carbon Content” or ”leaf nitrogen Content” or “leaf phosphorus Content” or “specific root length” or “root tissue density” or “fine root nitrogen concentration” or ”root nitrogen concentration” or “root phosphorus concentration” or “fine root carbon Content” or “root carbon Content” or ”root nitrogen Content” or “root phosphorus Content” or “root N:P” or (root “mechanical composition”) or plant "ecological stoichiometry") and (terrain or “terrain location” or topography or altitude or altitude gradient or elevation or “elevation gradient” or aspect or slope or latitude or “slope position” or “slope location”)) AND PY=(1992-2017)	698
(4) 根性状与气候 Root characters and climate	TS=((“specific root length” or “root tissue density” or “fine root nitrogen concentration” or ”root nitrogen concentration” or “root phosphorus concentration” or “fine root carbon Content” or “root carbon Content” or ”root nitrogen Content” or “root phosphorus Content” or “root N:P” or root “mechanical composition” or plant "ecological stoichiometry") and (precipitation or rainfall or air temperature or temperature or evaporation or solar radiation or radiation or insolation duration)) AND PY=(1992-2017)	133

2. 结果与分析

2.1 论文数量的时间变化特征

文献的年度分布态势是文献量在时间维度上的映射，是了解研究进展和划分研究阶段的定量化依据（李贺等，2014）。遴选出的 1992-2017 年有关植物功能性状和环境研究的 SCI 论文总量为 3 036 篇，年均文献数量 116.8 篇。其年度分布变化及所占比例表明，国际有关植物功能性状与环境间关系的研究文献量及其所占百分比基本保持稳定增长趋势（图 1）。

文献数量的增加，可以反映出植物功能性状与环境的研究已经受到学者的广泛关注。依据文献数量变化特点及研究内容等方面，本研究划分为 3 个阶段：1992-2000 年、2001-2008 年及 2009-2017 年。由于检索文献数量呈现稳步持续增长态势，且 2009-2017 年近 9 年间发文量 1 728 篇，占 25 年发文总量的 56.9%，因此，重点分析近 9 年文献。

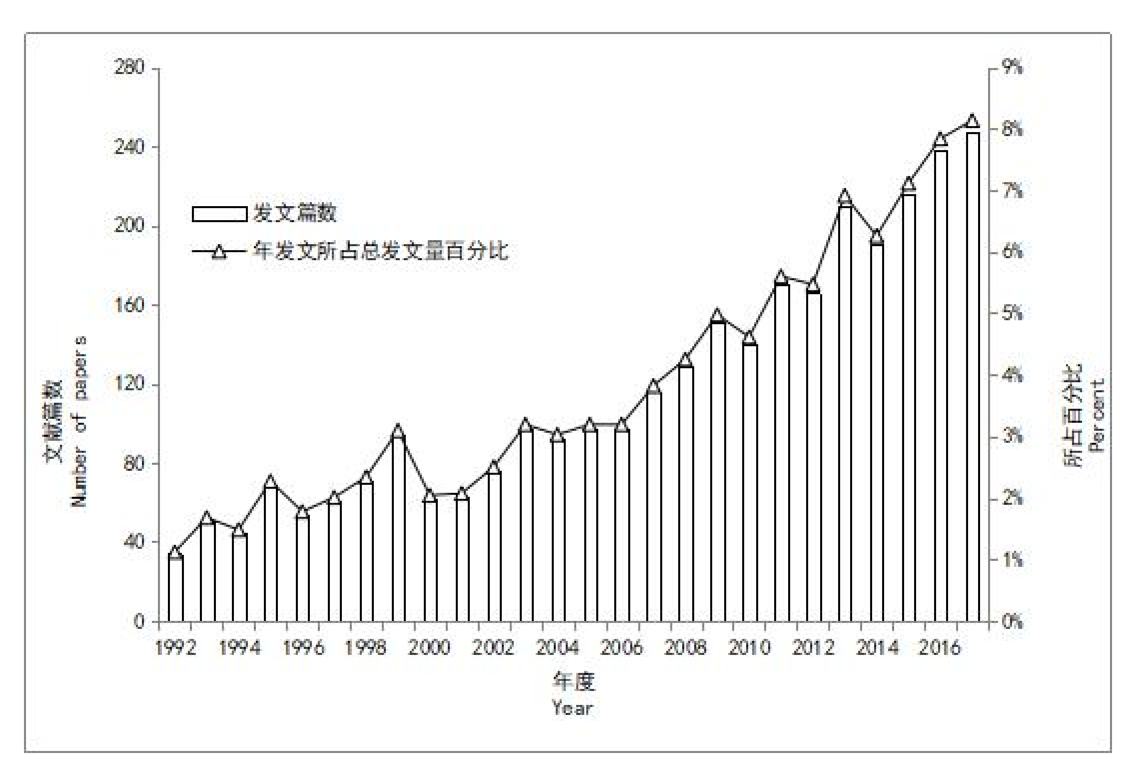


图 1　1992-2017 年植物功能性状与环境研究领域 SCI 论文年发文量及所占比例

Fig.1 Number and proportions of SCI articles on plant functional traits and environments research during 1992-2017

2.2 研究主题分析

本研究通过近 9 年来（2009-2017 年）国际有关植物功能性状与环境研究社会网络分析图谱，分别从叶性状与气候、根叶性状与地形、根叶性状与土壤、根性状与气候等几方面，对该领域近 9 年来主流学术群体及其联系作了深入分析，并制作关键词社会网络分析图谱（图 2）。其中，连线条数越多，节点越大，则该研究主题的中心性越高，某两点间连线越粗，则这两点所表示的研究主题之间共现机会越多。

有关叶性状与气候关系研究，关键词数量最多，且交错成密集网络（图 2）。研究围绕比叶面积、光合作用、CO_2、CO_2浓度升高、干旱、气候变化和氮等核心主题进行。研究热点主要包括叶片解剖、、叶片结构、叶片寿命、叶片厚度、叶形态、比叶重等与叶片形态结构相关指标，与光合作用相关的叶绿素、叶绿素荧光、光合能力、光抑制、光合色素等，与呼吸作用相关的气孔导度、气孔密度、暗呼吸等，及对光合作用、呼吸作用有显著影响的光

照、温度、水、肥等。研究一方面深入其生理机制，如光系统Ⅱ、温度响应等；另一方面向建模、化学计量学交叉学科发展。

根作为地下部器官，受到土壤理化特性的直接影响；根系吸收的矿质营养和水分通过导管运输到地上部分，同时叶片光合作用制造的有机物能通过筛管运输到地下部。“根深叶茂”正是这种关系的体现。2009-2017 年有关根叶性状与土壤研究，比叶面积、比根长、光合作用及碳、氮、磷、土壤肥力、水（利用效率）、干旱等是研究的核心热点，尤其（植物）功能性状、化学计量学也成为了研究的核心主题，同时化学计量学分支为生态化学计量学和 N-P 化学计量学。有关根叶性状与地形的研究，形成了以比叶面积和功能性状为核心，气候变化、叶氮、海拔高度、光合作用、气体交换、温度等为次核心的主题群；氮、磷、表型可塑性等也是研究的核心。有关根性状与气候的研究，关键词数量显著减少，且各关键词间的共现几率也显著减少。比根长、温度、氮、磷、化学计量学是研究的核心方向，有关化学计量学研究进一步细分为生态化学计量学、N-P 化学计量学和 P 化学计量学。根系形态、根组织密度、细根等根系自身特性研究受到较多关注，碳（分配）、氮降解、水分利用效率、外生菌根也是研究的热点。

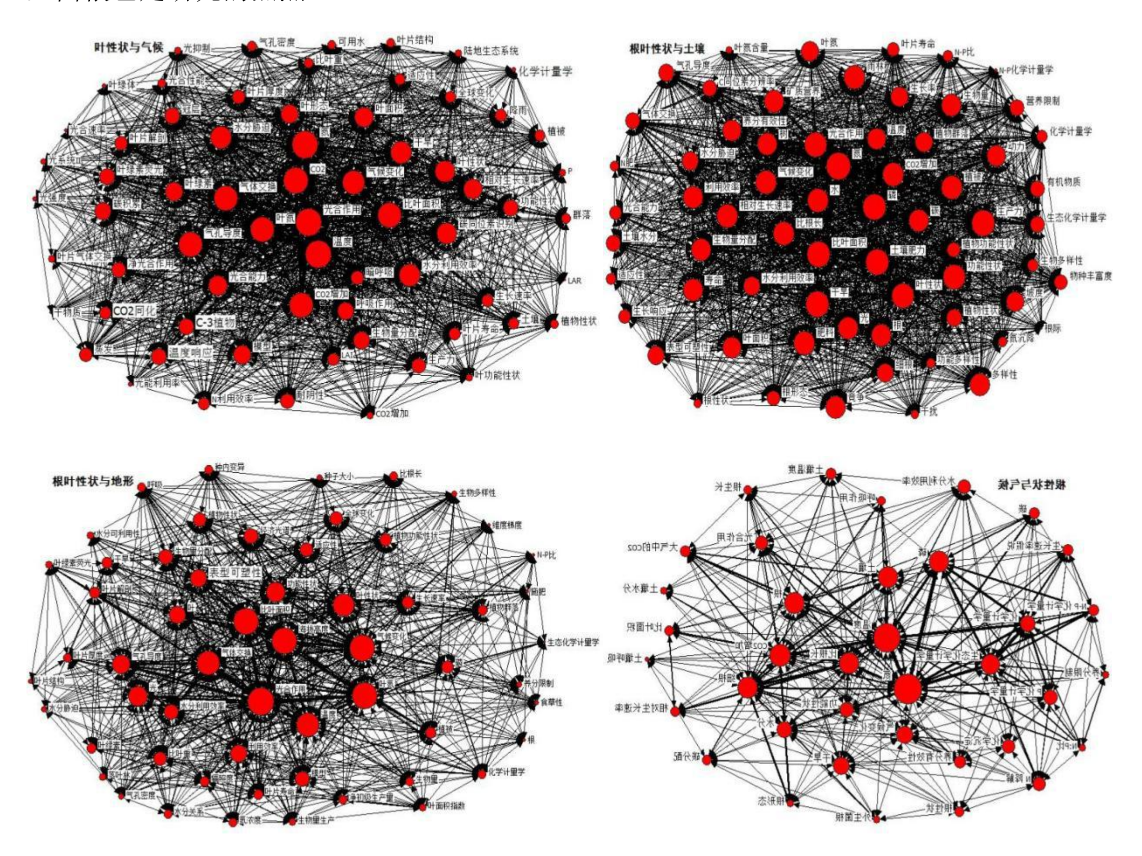


图 2　2009-2017 年植物功能性状与环境关系研究关键词社会网络度分析

Fig.2　Social network analysis of keywords on plant functional traits and environments research during 2009-2017

2.3 主要国家、科研机构的研究力量分布与比较

2.3.1 研究国家力量分布

发文量是衡量一个国家（机构）研究水平的一项重要标准（张玲玲等，2016；刘彬和邓秀新，2015），统计了2009-2017年发文量排名前10位的Top10国家（表2）。排名前10位的国家除了中国和巴西是发展中国家，另外8个国家均是发达国家。Top10国家中7个国家的发文量均大于等于100篇。美国作为世界科技最发达的国家，在许多研究领域都处于领先地位，对于植物功能性状与环境的研究也不例外。2009-2017年间，美国在这个领域的发文量为421篇，居第一位。排在第二位的是中国，发文量为380篇。澳大利亚、德国、巴西、法国和西班牙的发文量也均大于等于100篇。另外3个国家的发文量均少于100篇。2015年、2016年和2017年中国的发文量均超过了美国，表明我国有关植物功能性状与环境的研究，虽起步较晚，但发展迅速；同时说明我国对植物功能性状与环境的研究越来越重视。

表2　2009-2016年植物性状与环境研究Top10国家论文数量的年度变化

Table 2 Annual change in the number of papers published in the top 10 countries on plant functional traits and environments research during 2009-2017

年度 Year	美国 USA	中国 China	澳大利亚 Australia	德国 German	巴西 Brazil	法国 France	西班牙 Spain	加拿大 Canada	荷兰 Netherlands	英国 UK
2009	40	17	16	9	4	9	6	7	9	9
2010	28	19	19	5	14	5	8	8	6	6
2011	39	31	13	19	12	5	14	14	11	11
2012	43	29	15	13	15	12	13	5	7	3
2013	65	33	9	14	19	13	10	11	9	9
2014	48	43	23	15	21	19	14	8	7	7
2015	44	62	18	21	16	17	18	9	13	12
2016	52	71	23	23	13	22	13	16	16	12
2017	62	75	32	27	19	19	21	13	11	15
总计 Total	421	380	168	146	133	121	117	91	89	84

2.3.2　2009-2017年植物性状与环境研究Top10机构论文数量分析

由表3可以看出，2009-2017年发文量Top10的10个机构中9个属于发达国家，只有中国属于发展中国家。排名第一位的是中国科学院（大学），发文量为229篇，远远超过其他机构，占前10家机构发文总量（693篇）的比例达33%。4家机构属于美国，分别是美国加州大学系统、美国农业部、弗罗里达州立大学系统和明尼苏达大学系统，发文量分别为81、43、41和36篇，占前10家机构发文总量的29%。法国也有两家机构进入Top10，分别是法国国家农业科学研究院和法国国家科学研究院，发文量分别为60和57篇，占前10

家机构发文总量的 16.9%。另外 3 个进入 Top10 的研究机构分别为西班牙高等科研理事会、荷兰的瓦赫宁根大学和澳大利亚的联邦科学与工业研究组织。从年度分布来看，中国科学院在这 9 年间的发文量也一直稳居第一，表明中国科学院（大学）在该研究领域一直处于领先地位。

表 3 2009-2016 年植物性状与环境研究 Top10 机构论文数量的年度变化

Table3 **Annual change in the number of papers published in the top 10 institutions on plant functional traits and environments research during 2009-2017**

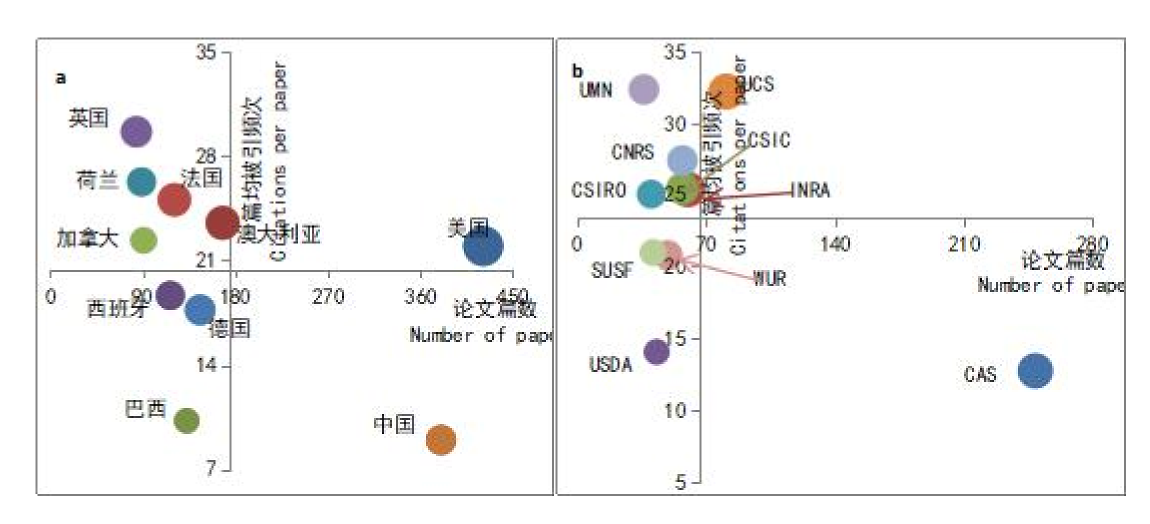
年度 Year	中国 China 中国科学院（大学） CAS (University)	美国 USA 加州大学系统 System of California University	法国 France 国家农业科学研究院 INRA	法国 France 国家科学研究院 CNRS	西班牙 Spain 最高科研理事会 CSIC	荷兰 Netherlands 瓦赫宁根大学 Wageningen University	美国 USA 农业部 USDA	澳大利亚 Australia 联邦科学与工业研究组织 CSIRO	美国 USA 弗罗里达州立大学系统 System of Florida University	美国 USA 明尼苏达大学系统 System of Minne University
2009	13	6	6	3	2	4	5	6	3	5
2010	13	2	2	2	2	5	3	4	5	3
2011	24	5	2	1	9	6	6	3	9	1
2012	25	10	8	3	5	3	2	4	4	2
2013	20	9	8	5	5	4	8	3	2	1
2014	27	12	8	9	6	5	6	4	3	6
2015	46	15	7	12	10	6	3	5	3	5
2016	46	10	11	11	6	11	4	7	5	5
2017	35	12	8	11	12	5	6	4	7	8
合计 Total	249	81	60	57	57	49	43	40	41	36

2.3.3 研究力量比较

论文数量、被引频次和 H 指数是分析评价研究成果质量的重要指标，能从论文数量角度反映国家或机构对能够领域的关注度，从质的角度反映论文水平和影响力强弱（王立伟等，2014；马梧桐和李宏，2016）。图 3 以研究主题（国家/机构）发文量为横轴，以篇均被引为纵轴，点的大小代表 H 指数高低。以平均值为中心点，建立研究力量评价坐标系。位于第 1 象限的国家/机构，其论文数量和质量均高于平均值，第 3 象限则相反。位于第 2 象限的国家/机构虽然其论文数量低于平均值，但其论文篇均被引却高于平均值，而第 4 象限与此相反（李雅等, 2017）。

从国家层面看(图 3: a)，处于第一象限的只有美国，说明美国在该领域不仅发文量多，而且论文的质量和影响力也高；处于第二象限的有澳大利亚、法国、荷兰、加拿大和英国，虽然这 5 个国家的发文量低于平均值，但论文质量高。处于第 3 象限的德国、西班牙和巴西，在该领域的发文数量和质量均有待进一步提升；中国处于第 4 象限，论文数量排在第 2 位，但篇均被引较低，因此，其 H 指数较高与发表论文数量大有关。

从机构层面看（图 3: b），中国科学院处于第 4 象限，论文数量达 249 篇遥遥领先其余机构，但论文质量有待进一步提升。美国加州大学系统处于第 1 象限，论文数量超过平均值，论文质量也明显高于其余 8 个机构。法国国家科学研究院，澳大利亚联邦科学与工业研究组织、法国农业科学研究院、西班牙最高科研理事会和明尼苏达大学系统均处于第 2 象限，尤其是明尼苏达大学系统，其篇均被引频次最高，说明其论文质量较高。美国弗罗里达州立大学系统、荷兰瓦赫宁根大学和美国农业部在第 3 象限，处于该领域的边缘地位。



注：CAS-中国科学院（大学），UCS-美国加州大学系统，INRA-法国国家农业科学研究院，CSIC-西班牙最高科研理事会，CNRS-法国国家科学研究院，USDA-美国农业部，WUR-荷兰瓦赫宁根大学，SUSF-美国弗罗里达州立大学系统，CSIRO-澳大利亚联邦科学与工业研究组织，UMN-美国明尼苏达大学系统。**a.** 国家；**b.** 机构。

Note: CAS- Chinese Academy of Sciences (University), UCS- University of California State System, INRA- French National Institute for Agricultural Research, CSIC- Spanish National Research Council, CNRS-French National Center for Scientific Research, USDA-United States Department of Agriculture, WUR- Wageningen University Research Center, SUSF- State University System of Florida, CSIRO-Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, UMN- University of Minnesota. **a.** Countries; **b.** Institutions.

图 3　Top 10 国家和机构力量比较

Fig.3 Comparison on scientific research strength on plant functional traits and environments research between major countries and between major institutions

2.4 本领域主要期刊

对来源出版物进行分析，可以快速掌握某研究领域的出版物分布状况，明确科研人员的投稿取向，确定该领域的核心情报源（孙颉和原保忠，2015）。从表 4 可以看出，载文量位于前 10 位的出版物其载文量共计 400 篇，其中 Plant and Soil 载文量达 63 篇，占前 10 位载文总量的 15. 8%，排名第二位的是 Plant Ecology，载文量 49 篇。其中，Plant and Soil 主要收录有关植物生物学、土壤学及植物-土壤互作机理方面的文章或综述，Plant Ecology 主要收录与植物科学相关的研究型、综述、评论、快报等各类型文章。排名前 10 位的期刊，主要与植物学、（植物）生态研究相关。

载文量前 10 位的期刊总体质量较高，其中 JCR 分区 8 种期刊均为 Q1 区，另外 2 种期刊为 Q2 区；其 2017 年的影响因子（IF）≥3 的有 7 种，其中 Global Change Biology 的 IF 超过了 8。从出版商所属国家分布来看，10 种期刊属于 3 个国家，分别为美国 7 种、荷兰 2 种和英国 1 种。

表 4　植物功能性状领域 Top10 载文期刊及其影响力

Table 4 Top10 journals on plant functional traits and environments research and their impacts

序号 Number	刊名 Journal	载文量（篇） Number of articles	影响因子（IF） Impact Factor	出版国家 Country	JCR 分区 JCR partition
1	Plant and Soil	63	3.306	荷兰 Netherlands	Q1
2	Plant Ecology	49	1.759	荷兰 Netherlands	Q2
3	PLoS ONE	43	2.766	美国 USA	Q1
4	Journal of Ecology	41	5.172	美国 USA	Q1
5	Tree Physiology	41	3. 389	英国 UK	Q1
6	Functional Ecology	35	5. 491	美国 USA	Q1
7	Journal of Vegetation Science	33	2.658	美国 USA	Q1
8	New Phytologist	33	7. 433	美国 USA	Q1
9	Global Change Biology	31	8. 997	美国 USA	Q1
10	Oecologia	31	3.127	美国 USA	Q2

注：影响因子均为 2017 年数据。

Note: Impact factor data is published by JCR in 2017.

2.5 高影响力论文

论文被引频次在一定程度上反映了其对后续研究的影响程度，分析高被引论文可以调查与评估不同国家或机构的科研实力与学术水平，同时也可以探讨学科的研究热点和发展态势（李雅等，2017；高懋芳等，2014）。表 5 是 2009-2017 年植物功能性状与环境研究领域前 10 位的高被引文献的相关信息。从第一作者国家分析，10 篇论文均来自于欧美发达国家，其中，美国 5 篇、荷兰 2 篇、加拿大、德国和法国各 1 篇。从期刊来源看，Top10 的文献发表在 8 种期刊上，New Phytologist 和 Journal of Ecology 载文量均为 2 篇，其余 6 篇论文发表在两外 6 种不同的刊物。从发表时间来看，5 篇发表于 2009 年，3 篇发表于 2010 年，1 篇发表于 2011 年，另外 1 篇发表于 2012 年。被引频次居于首位的是荷兰的 Pooter, H 于 2009 年发表在 New Phytologist 上题目为 Causes and consequences of variation in leaf mass per area (LMA): a meta-analysis 的文章，其被引频次达到了 803 次。

表 5 Top10 高被引论文

Table 5 Times cited of top 10 papers on plant functional traits and environments research in WOS

序号 Number	文献题目 Title	第一作者 First author	文献来源 Source	被引频次 Citation	发表年份 Published year
1	Causes and consequences of variation in leaf mass per area (LMA): a meta-analysis	Poorter, H 荷兰 Netherlands	New Phytologist	803	2009
2	Community assembly and shifts in plant trait distributions across an environmental gradient in coastal California	Cornwell, WK 加拿大 Canada	Ecological Monographs	481	2009
3	A global study of relationships between leaf traits, climate and soil measures of nutrient fertility	Ordonez, JC 荷兰 Netherlands	Global Ecology and Biogeography	323	2009
4	Differential responses to changes in growth temperature between trees from different functional groups and biomes: a review and synthesis of data	Way, DA 美国 USA	Tree Physiology	303	2010
5	Resource stoichiometry elucidates the structure and function of arbuscular mycorrhizas across scales	Johnson, NC 美国 USA	New Phytologist	265	2010
6	Ecoenzymatic stoichiometry of microbial organic nutrient acquisition in soil and sediment	Sinsabaugh, RL 美国 USA	Nature	230	2009
7	Quantifying photosynthetic capacity	Kattge, J	Global Change Biology	228	2009

	and its relationship to leaf nitrogen content for global-scale terrestrial biosphere models	德国 Germany			
8	Intraspecific functional variability: extent, structure and sources of variation	Albert, CH 法国 France	Journal of Ecology	226	2010
9	Inferring community assembly mechanisms from functional diversity patterns: the importance of multiple assembly processes	Spasojevic, MJ 美国 USA	Journal of Ecology	186	2012
10	Soil warming, carbon-nitrogen interactions, and forest carbon budgets	Melillo, JM 美国 USA	Proceedings of The National Academy of Sciences of USA	172	2011

3. 结论与讨论

总体来说，随着研究的深入，国际上有关植物功能性状和环境的研究呈稳步增长态势。近 8 年来，有关植物功能性状和环境的研究呈加速增长态势。

(1) 欧美等发达国家是植物功能性状与环境研究的主要力量。美国在这个领域的发文量以绝对优势居第一位，中国发文量居第二位，文献质量有待提高。法国、澳大利亚、西班牙、德国、巴西、西班牙、荷兰和英国也是该领域研究的主要力量。从机构层面看，中国科学院发文量远远超过其他国家居第一位，但文献质量有待进一步提升。美国的加州大学系统文献数量多，质量也很高。Top10 机构中，美国占 4 个，和法国有 2 个。另外 4 个分别为中国科学院、西班牙高等科研理事会、荷兰的瓦赫宁根大学和澳大利亚的联邦科学与工业研究组织。

(2) 有关植物功能性状与环境研究的 4 个主要方向，叶性状与气候、根叶性状与土壤研究不仅相关文献数量多，研究体系和层次也较为完善，是该领域的研究热点，有较好的发展态势。尤其是叶性状与气候的研究，研究主题广泛，且各主体间密切关联，交织成密集网络。比叶面积、光合作用、CO_2、CO_2浓度升高、比根长、干旱、气候（变化）及氮、磷、土壤肥力、用水效率等是研究的核心热点。但是，目前大多叶性状与气候的研究主要集中在个体水平的叶片常规形态性状上，在生态系统、区域或全球尺度上，存在性状数据与功能数据空间不匹配的问题（Reichstein et al., 2014; 何念鹏等，2018）。从个体—种群—群落—生态系统等不同水平的尺度上对植物叶功能性状进行系统研究，构建植物叶性状、气候、功能之间的定量化关系，是植物叶功能性状进一步研究需要重视的着眼点（He et al., 2018; Li et al., 2018）。目前，在该方向已有一些研究。例如中国生态系统研究网络、中国国家生态系统观测研究网络、中国森林生态系统定位观测网络、中国森林生物多样性监测网络等网络平台的建设，为开展森林植物功能性状研究提供了良好的平台（何念鹏等，2018）。在多尺度植物

性状方面的研究也有一些定量模型开始应用（Roscher et al., 2012）。

（3）除叶外，根也是植物的重要功能性状，对环境响应敏感。但是，对于植物根性状与气候关系研究的文献数量少，研究方向也较为单一，比根长是该方向的研究核心，其次是（生态）化学计量学、磷和氮。近年来，根性状与气候关系的研究逐渐增多，这可能与植物根系观测手段不断进步有关（王丹丹等，2016）。 根是植物直接感受水、肥等环境生态因子的器官，对于地上部功能性状及其对环境的响应具有重要的反馈作用。近年来，植物根与土壤间的互作研究，尤其是菌根的研究，逐渐成为植物功能性状的研究热点（林双双等，2013）。一系列研究表明，菌根的分布、形态、种类对于植物性状响应生态环境具有显著影响，而环境因子也显著影响植物菌根（刘润进等，2017；林子然和张英俊，2018）。随着研究手段的进步，关于根系定位观测、根系形态学以及生理生态的研究也在不断开展（刘薇等，2017；谭华东等，2016）。这对于丰富植物功能性状与环境关系研究具有十分重要的意义。

(4) 从期刊分布来看，载文量位于前 10 位的出版物其载文量共计 400 篇。10 种期刊属 3 个发达国家，其中美国 7 种、荷兰 2 种、英国 1 种。载文量 Top10 期刊总体质量较高，其中 8 种期刊 JCR 分区均为 Q1 区。Top10 高影响力论文的第一作者均来自于欧美发达国家, 其中，美国 5 人，荷兰 2 人，加拿大、法国和德国各 1 人。Top10 高被引文献发表在 8 种期刊上。发表时间分别为，5 篇发表于 2009 年，3 年发表于 2010 年，另外 2 篇分别发表于 2011 和 2012 年。

中国虽然在植物功能性状与环境研究方面取得了一些进展，但仍然存在一些问题值得探讨：

（1）中国与欧美、澳大利亚、日本等发达国家相比，存在一定的差距。中国虽然发文量较多，但文献质量不高，文献的篇均被引频次较低。分析其原因，可能与欧美、澳、日等发达国家经济水平高，该领域研究起步早、国际间合作多，而中国在该领域研究起步较晚，国际合作较少及国家对研究机构考核、职称评定等政策有关。因此，今后中国学者在植物功能性状与环境的研究要注重高水平论文的发表，当量变积累到一定程度时要实现质的飞跃。

（2）中国科学院在植物功能性状与环境研究领域显示出其明显的优势，2009-2017 年其产出论文数量在主要研究机构中以绝对优势居于第一位，但篇均被引频次显著低于美欧、澳、日等主要研究机构，影响力有待提高。进一步开展国际间的合作尤其是与高水平机构的合作，是提升研究水平的一个重要途径。

因此，我国应密切关注国际植物功能性状与环境研究的发展态势与进展，了解与该领域研究实力强大的国家和机构的差距，明确该领域研究热点，掌握其发展趋势，对提升我国

在该领域的研究实力及影响力大有裨益。

参考文献

CAO YQ, GUO M, LIU SR, et al, 2016. Study on current status of ecological restoration based on bibliometric analysis [J]. Acta Ecol Sin, 36(8): 2442-2450. [曹永强，郭明，刘思然，等，2016. 基于文献计量分析的生态修复现状研究 [J]. 生态学报，36（8）：2442-2450.]

EBOEHNKE M, EKROEBER W, WELK E, et al, 2014. Maintenance of constant functional diversity during secondary succession of a subtropical forest in China [J]. J Veg Sci, 25(3): 897-911.

ENGINEER CB, GHASSEMIAN M, ANDERSON JC, et al, 2014. Carbonic anhydrases, EPF2 and a novel protease mediate CO_2 control of stomatal development [J]. Nature, 513: 246-250.

FENG JH, SHI ZM, DONG LL, 2008. Response of plant functional traits to environment and its application [J]. Sci Silva Sin, 44(4): 125-131. [冯秋红，史作民,，董莉莉，2008. 植物功能性状对环境的响应及其应用 [J]. 林业科学，44（4）：125-131.]

GAO MF, QIU JJ, LIU SC, et al, 2014. Status and trends of agricultural diffuse pollution research based on bibliometrics [J]. Sci Agric Sin, 47(6): 1140-1150. [高懋芳，邱建军，刘三超，等，2014. 基于文献计量的农业面源污染研究发展态势分析 [J]. 中国农业科学，47（6）：1140-1150.]

GONG CM, BAI J, LIANG ZS, 2011. Advance on indicating functions of plant functional traits to global climate changes [J]. Acta Bot Boreal Occident Sin, 31(11): 2355-2363. [龚春梅，白娟，梁宗锁，2011. 植物功能性状对全球气候变化的指示作用研究进展 [J]. 西北植物学报，31（11）：2355-2363.]

HE NP, LIU CC, TIAN M, et al, 2017. Variation in leaf anatomical traits from tropical to cold-temperate forests and linkage to ecosystem functions [J]. Funct Ecol, 32(8): 10-19.

HUANG YX, SONG YT, FAN GH, et al, 2015. Allometric relationships between morphological and reproductive traits of *Chenopodium glaucum* [J]. Acta Agrect Sin, 23(5): 905-913. [黄迎新，宋彦涛，范高华，等，2015. 灰绿藜形态性状与繁殖性状的异速关系 [J]. 草地学报，23（5）：905-913.]

LAVOREL S & GARNIER E, 2002. Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail [J]. Funct. Ecol., 16(5): 545–556.

LENG SY, 2016. Thirty years of geography: from the classics to the frontier [M]. Beijing: The Commercial Press. [冷疏影，2016. 地理科学三十年：从经典到前沿 [M]. 北京：商务印书馆.]

LI H, YUAN CM, LI YF, 2014. A review of big data research based on bibliometrics [J]. Inf Sci, 32(6): 148-155. [李贺，袁翠敏，李亚峰，2014. 基于文献计量的大数据研究综述 [J]. 情报科学，32（6）：148-155.]

LI N, YANG ZY, DAI Z, et al, 2017. Effects of water-nitrogen management on root traits, nitrogen accumulation and utilization and grain yield in rice with different nitrogen use efficiency [J]. Chin J Rice Sci, 31(5): 500-512. [李娜，杨志远，代邹，等，2017. 水氮管理对不同氮效率水稻根系性状、氮素吸收利用及产量的影响 [J]. 中国水稻科学，31（5）：500-512.]

LI Y, LIU CC, ZHANG JH, et al, 2018. Variation in leaf chlorophyll concentration from tropical to

cold-temperature forests: association with gross primary productivity [J]. Ecol Indic, 85: 383-389

LI Y, LIU M, ZENG QC, et al, 2017. Frontier situation analysis of the research on soil carbon sequestration and soil microbial diversity based on bibliometric [J]. Chin J Soil Sci, 48(3): 745-756. [李雅，刘梅，曾全超，等，2017. 基于文献计量的土壤有机碳与土壤微生物多样性研究前沿态势分析 [J]. 土壤通报，48（3）：745-756.]

LIN SS, SUN XW, WANG XJ, et al, 2013. Mycorrhizal studies and their application prospects in China [J]. Acta Pratac Sin, 22(5): 310-325. [林双双，孙向伟，王晓娟,，等，2013. 我国菌根学研究进展及其应用展望 [J]. 草业学报，22（5）：10-325.]

LIN ZR & ZHANG YJ, 2018. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus on growth and physiological properties of alfalfa seedlings under drought stress [J].Prat Sci, 35(1): 115-122. [林子然和张英俊，2018. 丛枝菌根真菌和磷对干旱胁迫下紫花苜蓿幼苗生长与生理特征的影响 [J]. 草业科学，35（1）：115-122.]

LIU B, DENG XX, 2015. Basic research development status of horticulture based on bibliometric analysis [J]. Sci Agric Sin, 48(17): 3504-3514. [刘彬和邓秀新，2015. 基于文献计量的园艺学基础研究发展状况分析 [J]. 中国农业科学，48（17）：3504-3514.]

LIU CC, HE NP, ZHANG JH, et al, 2018. Variation of stomatal traits from cold temperate to tropical forests and association with water use efficiency [J]. Funct Ecol, 32(1):20-28.

LIU J, LI JM, YU H, et al, 2010. The relationship between functional traits and invasiveness of alien Plants [J]. Biodiv Sci, 18(6) : 569-576. [刘建,，李钧敏，余华，等，2010. 植物功能性状与外来植物入侵 [J]. 生物多样性，18（6）：569-576.]

LIU RJ, TAGN M, CHEN YL, 2017. Recent advances in the study of mycorrhizal fungi and stress resistance of plants [J]. J Fung Res, 15(1): 70-88. [刘润进，唐明，陈应龙，2017. 菌根真菌与植物抗逆性研究进展 [J]. 菌物研究，15（1）：70-88.]

LIU W, DU WL, SU Y, et al, 2017. Design and analysis of a plant root soil composite in situ shear test devices [J]. J Agri Mech Res, 1: 82-86. [刘薇，杜文亮,，苏禹，等，2017. 植物根－土复合体原位剪切试验装置的设计与分析 [J]. 农机化研究，1：82-86.]

LIU XJ, MA KP, 2015. Plant functional traits-concepts, applications and future directions [J]. SCI SINICA Vitae, 45(4): 325-339. [刘晓娟和马克平，2015. 植物功能性状研究进展 [J]. 中国科学：生命科学,，45（4）：325-339.]

MA WT & LI H, 2016. Development trend analysis on carbon nanotube fibers research [J]. Sci Fouc, 11(3): 23-31. [马梧桐和李宏，2016. 碳纳米管纤维研究发展态势分析 [J]. 科学观察，11（3）：23-31.]

MENG TT, NI J, WANG GH, 2007. Plant functional traits environments and ecosystem functioning [J]. Chin J Plant Ecol 31(1): 150－165. [孟婷婷，倪健，王国宏，2007. 植物功能性状与环境和生态系统功能 [J]. 植物生态学报，31（1）：150－165.]

OSTERTAG R, WARMAN L, CORDELL S, et al, 2015. Using plant functional traits to restore Hawaiian rainforest [J]. J. Appl Ecol, 52(4): 805-809.

PEI NC, ZHANG JL, MI XC, et al, 2011. Plant DNA barcodes promote the development of phylogenetic community ecology [J]. Biodiv Sci, 19(3): 284-294. [裴男才，张金龙，米湘成，等，2011. 植物 DNA 条形码促进系统发育群落生态学发展 [J]. 生物多样性，19（3）：284-294.]

PEREZ HN, DIAZ S, GARNIERE, et al, 2013. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide [J]. Aust J Bot., 61(3): 167-234.

REICH PB, WRIGHT IJ, CAVENDER-BARES J, et al, 2003. The evolution of plant functional variation: traits, spectra, and strategies [J]. Int J Plant Sci., 164(3): S143–S164.

REICHSTEM M, BAHN M, MAHECHA M, et al, 2014. Linking plant and ecosystem functional biogeography [J]. P Natl Acad Sci USA, 111(38): 13697-13702.

ROSCHER C, SCHUMACHER J, CUBSCH M, et al, 2012. Using plant functional traits to explain diversity-productivity relationships [J]. PloS One, 7(5): e36760.

SHI Y, WEN ZM, GONG SH, 2011. Comparisons of relationships between leaf and fine root traits in hilly area of the Loess Plateau, Yanhe River basin,, Shaanxi Province, China [J]. Acta Ecol Sin, 31(22): 6805-6814. [施宇，温仲明，龚时慧，2011. 黄土丘陵区植物叶片与细根功能性状关系及其变化 [J]. 生态学报，31（22）：6805-6814.]

SUN J &, YUAN BZ, 2015. Bibliometrics analysis of drip irrigation academic research [J]. Chin Agric Sci Bull, 31(19): 237-345. [孙頔和原保忠，2015. 滴灌研究文献计量学分析 [J]. 中国农学通报，31（19）：237-345.]

TAN HD, LIN RL, ZHU YX, et al, 2016. *In situ* Determination of anthracene adsorbed onto mangrove root surface micro-zone using microscopic fluorescence spectrometric analysis system [J]. Chin J Anal Chem, 44(8): 1281-1285. [谭华东，李锐龙，朱亚先，等，2016. 显微荧光光谱原位测定红树植物根表面微区中的蒽 [J]. 分析化学，44（8）：1281-1285.]

TANG X & ZHANG ZQ, 2016. A bibliometrical analysis of oasis research [J]. Acta Ecol Sin, 36(10): 3115-3122. [唐霞和张志强，2016. 基于文献计量的绿洲研究发展态势分析 [J]. 生态学报，36（10）：3115-3122.]

Tian M, Yu GR, He NP, Hou JH, et al, 2016. Leaf morphological and anatomical from tropical to temperate coniferous forests: Mechanisms and influencing factors [J]. Sci Rep, 6: 19703.

WANG DD, XU YM, YUE SP, et al, 2016. Plant root detection based on ground penetrating radar: A review [J]. J Nanjing Univ Inf Sci &Tech: Nat Sci Ed, 8(1): 46-55. [王丹丹，徐永明，岳书平，等，2016. 基于探地雷达的植物根系探测研究进展 [J]. 南京信息工程大学学报：自然科学版，8（1）：46-55.]

WANG LW, ZHENG WJ, ZHAO JD, 2014. A bibliometrical analysis of aluminum ore exploration research [J]. Resour Sci, 36(3): 653-659. [王立伟，郑卫军，赵纪东，等，2014. 基于文献计量的铝矿科技发展态势分析 [J]. 资源科学，36（3）：653-659.]

WANG RL, YU GR, HE NP, et al, 2016. Latitudinal variation of leaf morphological traits from species to communities along a forest transect in eastern China [J]. J Geogr Sci, 26(1): 15-26.

YAO XY, HU YS, LIU YH, 2014. Plant functional traits and functional diversities of different communities in broad-leaved Korean pine forests in the Changbai Mountain [J]. J Northwest A&F Univ：Nat Sci Ed, 42(3): 77－84. [么旭阳，胡耀升，刘艳红，2014. 长白山阔叶红松林不同群落类型的植物功能性状与功能多样性 [J]. 西北农林科技大学学报：自然科学版，42(（3）：77－84.]

ZHANG JH, LUO YY, CHANG ZQ, 2015. Research on the ecosystem carbon exchange: an analysis based on bibliometrics method [J]. Ecol Environ, 24(12): 2082-2088. [张静辉，罗亚勇，常宗强，2015. 基于文献计量的

生态系统碳交换研究发展态势分析 [J]. 生态环境学报，24（12）：2082-2088.]

ZHANG LL, GONG J, ZHANG Y, 2016. A review of ecosystem services: a bibliometric analysis based on web of science [J]. Acta Ecol Sin, 36(18): 5967-5977. [张玲玲，巩杰，张影，2016. 基于文献计量分析的生态系统服务研究现状及热点 [J]. 生态学报，36（18）：5967-5977.]

ZHAO XF, XU HL, ZHANG P, et al, 2014. Influence of nutrient and water additions on functional traits of *Salsola nitraria* in desert grassland [J]. Acta Phytoecol Sin, 38(2): 134-146. [赵新风，徐海量，张鹏，等，2014. 养分与水分添加对荒漠草地植物钠猪毛菜功能性状的影响 [J]. 植物生态学报，38（2）：134-146.]

ZHENG Y, WEN ZM, SONG G, et al, 2014. The influence of environment and phylogenic background on variation in leaf and fine root traits in the Yanhe River catchment, Shaanxi, China [J]. Acta Ecol Sin, 2014, 34(10): 2682-2692. [郑颖，温仲明，宋光，等，2014. 环境及遗传背景对延河流域植物叶片和细根功能性状变异的影响 [J]. 生态学报，34（10）：682-2692.]

ZHOU DW， 2009. A phylogenic approach to comparative functional plant ecology [J]. Acta Ecol Sin, 29(10): 5644-5655. [周道玮，2009. 植物功能生态学研究进展 [J]. 生态学报，29（10）： 5644-5655.]

ZOU XX, ZHANG XJ, WANG ML, et al, 2018. Effects of soil bulk density on root growth traits and endogenous hormones contents in peanut (*Arachis hypogaea*) [J]. J Plant Physiol, 54(6): 1130-1136. [邹晓霞，张晓军，王铭伦，等，2018. 土壤容重对花生根系生长性状和内源激素含量的影响 [J]. 植物生理学报，54（6）：1130-1136.]